УДК 591.84:598.6

П. М. Мажуга, Е. И. Домашевская, Т. П. Ницевич

ОСОБЕННОСТИ БИОСИНТЕЗА КОЛЛАГЕНОВЫХ БЕЛКОВ В СТРУКТУРАХ НАДКОСТНИЦЫ И ЭНДОСТА У ЗАРОДЫШЕЙ КУРИНЫХ

Развитие клеток надкостницы и эндоста сопровождается измененинем ряда метаболических показателей, отражающих последовательную смену синтеза специфических веществ в клетках и степень их участия в продуцировании компонентов основного вещества. Эти явления внутри клеток регистрируются по возрастающим показателям синтеза белков, которые могут быть использованы для оценки функционального состояния клеток в остеогенезе.

Сведений о биосинтезе коллагеновых белков в остеобластах периоста и эндоста у птиц очень мало. Отдельные сообщения касаются биосинтеза коллагена остеобластами птиц в культуре ткани (Jackson, Smith, 1957; Smith, Jackson, 1957; Scott-Savage, 1979), а также в условиях воздействия на организм некоторых веществ (кальций, циклогексимид, дексиметазон), стимулирующих или ингибирующих костеобразование (Weinstock, Leblond, 1974; Zambonin et al., 1982; 1983; Reddi, Harri, 1982). Однако даже эти немногие сообщения посвящены выяснению механизма биосинтеза коллагена, а не оценке функционального состояния остеогенных клеток. В нашем исследовании сделана попытка оценки функционального состояния остеобластов в периосте и эндосте по включению ими ^{3}Н-глицина.

Материал и методика. Метод авторадиографии с применением ^{3}Н-глицина изучали распределение биосинтеза коллагена в клетках перихондра, периоста и эндоста в различных участках растущей длинной трубчатой кости у 17-суточных зародышей куриных. Всего использовано в опыте 20 зародышей кур породы белый леггорн.

^{3}Н-глицин вводили однократно в дозе 37 кБк/г массы тела.

Материал (бедренные кости) отбирали через 1; 24; 48 и 72 ч после введения изотопа. Учет включений изотопа проводили, подсчитывая зерна восстановленного серебра над клетками и межклеточным веществом, ориентируясь в каждом случае на эквивалентную площадь структуры — 1600 мкм^2. Подсчеты проводили по всему поперечнику диафиза кости, включая периостальные, мезостальные и эндостальные трабекулы. Полученные данные обрабатывались вариационно-статистическим методом.

При сходных с другими наземными позвоночными источниками и механизмами развития, периост и эндост у птиц имеет существенные отличия, связанные с особенностями структурного формирования трубчатых костей. Диафизарная трубка в длинных костях птиц построена по трабекулярно-лакунарному принципу (рис. 1,2). В такой облегченной конструкции клетки внутреннего слоя периоста заходят глубоко в межтрабекулярные пространства; в то же время эндост распространен по внутренней зоне трабекулярно-лакунарной конструкции со стороны костномозговой полости. То есть, остеогенные клетки периоста и эндоста рассредоточены по всему лакунарно-трабекулярному лабиринту диафизарной трубки, представляя фактически единую остеогенную систему.

В бедренной кости 17-суточного зародыша морфологически можно выделить диафиз, два метафиза, переходную зону и два эпифиза. Диафизарная и метафизарная области покрыты снаружи периостом, а в переходной зоне и на боковых поверхностях эпифизов содержится перихондр. Перихондр без видимой границы переходит в периост, в котором

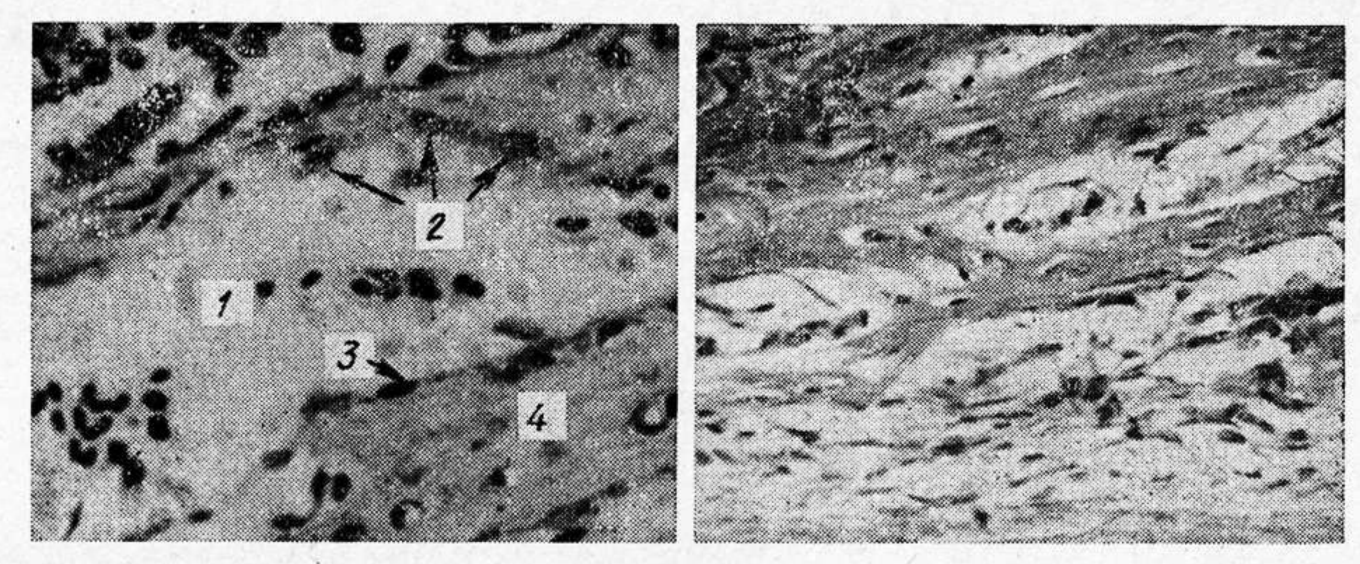


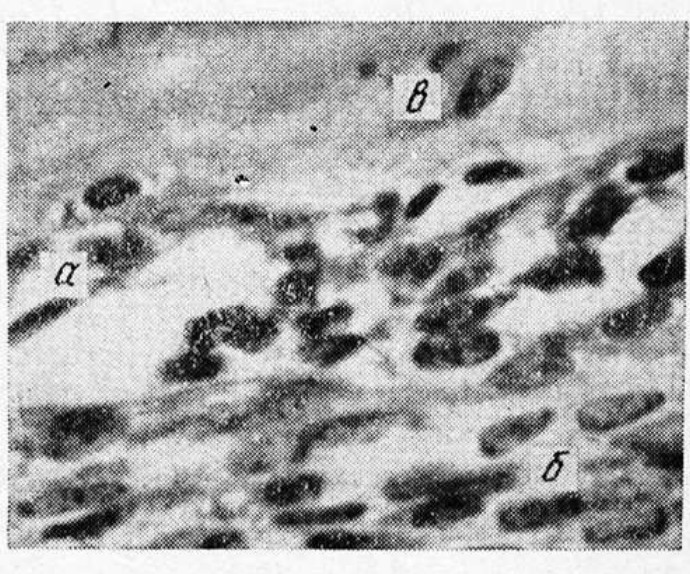
Рис. 1. Фрагмент диафизарной трубки бедренной кости 17-суточного зародыша: *1* — костно-мозговая полость; *2* — многочисленные остеокласты на внутренней (эндостальной) поверхности кости; *3* — остеобласты; *4* — костные трабекулы разных порядков (гем.—эозин; об. 25, ок. 15).

Рис. 2. Фрагмент диафизарной костной трубки бедренной кости 17-суточного зародыша, состоящей из взаимосоединяющихся костных трабекул (со стороны периоста) (гем.—эозин; об. 40, ок. 7).

выделяются: внутренний и наружный слои. В наружном слое клетки расположены в 8—10 рядов. Наружный слой содержит фибробласты и фибробластоподобные клетки, здесь же встречаются кровеносные сосуды. Иногда можно видеть единичные тучные клетки. Во внутреннем слое содержится 4—5 рядов остеогенных клеток. Клетки на разных стадиях дифференцировки: остеобласты и преостеобласты.

Если в метафизе внутренний и наружный слои периоста имеют примерно одинаковую толщину, то в диафизе внутренний слой периоста несколько тоньше наружного (рис. 3). Соответственно внутренний слой включает 3—4 ряда клеток, а наружный — 7—8. На равной площади (1600 мкм^2) в периосте диафиза насчитывается в 2 раза больше остеобластов, чем в периосте метафиза. Нередко в периосте диафизарной области на поверхности кости можно видеть 2-ядерные остеокласты (рис. 4). Средняя площадь такой клетки составляет 37—40 мкм^2.

Эндост в трубчатой кости куриных зародышей распространен по всей внутренней зоне трабекулярно-лакунарной конструкции. Он образован лишь одним слоем клеток, которые в межтрабекулярной зоне представлены преимущественно остеобластами и редко встречающимися остеокластами, а на внутренней поверхности диафизарной трубки,



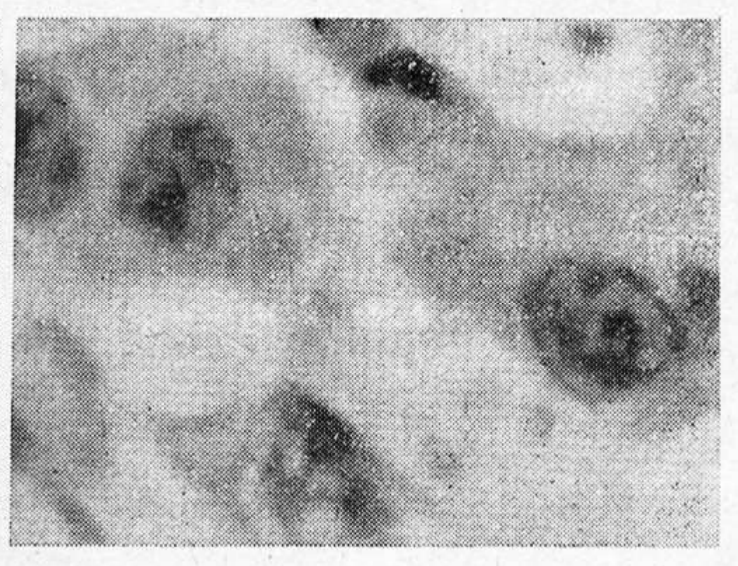
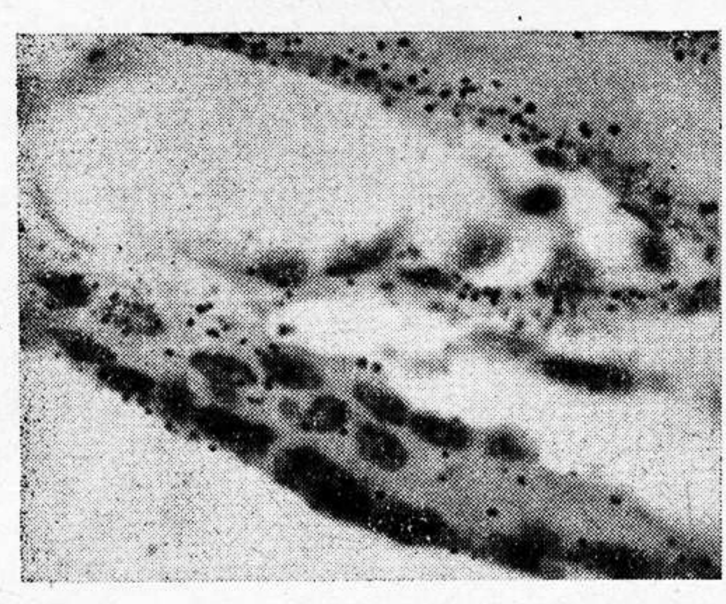


Рис. 3. Надкостница 17-суточного зародыша в зоне диафиза бедренной кости: *а* — внутренний слой; *б* — наружный слой; *в* — остеоцит (гем.—эозин; об. 40, ок. 7).

Рис. 4. 2-ядерные остеокласты надкостницы бедренной кости 17-суточного зародыша (гем.—эозин; об. 40, ок. 7).



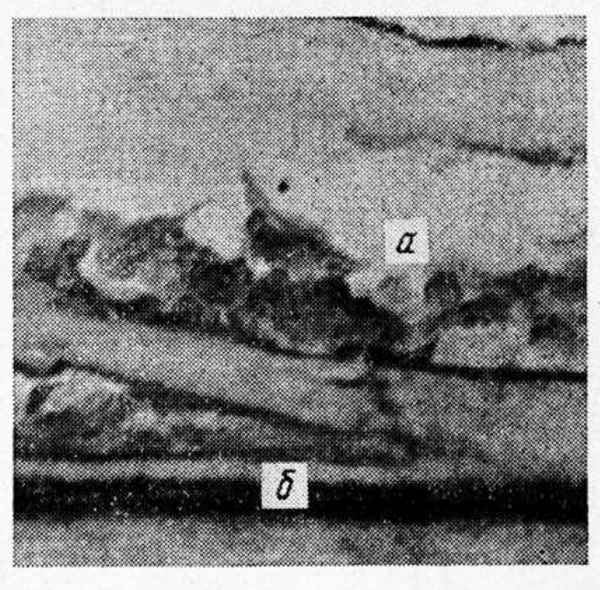


Рис. 5. Многоядерный меченый остеокласт в зоне резорбции (эндостальная зона) диафизарной кости 17-суточного зародыша (гистоавтограф, ^{3}Н-глицин, экс. 72 ч, гем.—эозин; об. 40, ок. 16).

Рис. 6. Участок диафизарной трубки бедренной кости 17-суточного зародыша: *а* — слабая реакция щелочной фосфомоноэстеразы в зоне эндостального остеогенеза; *б* — интенсивная в периосте (реакция по Гомори; об. 40, ок. 7).

в нем численно преобладают одноядерные и многоядерные остеокласты (рис. 1). Фибриллярного каркаса в эндосте нет, однако на поперечных срезах трубчатой кости, обработанных азотнокислым серебром по Бильшовскому в модификации Тинеля (Роскин, 1957), у эндостальной поверхности и выявляются аргенофильные волокна костномозговой стромы, направленные под различными углами к поверхности кости. В метафизарной области костные балки расположены в 2—3 ряда, обозначаемые нами как трабекулы 1, 2, 3-го порядка. Количество остеобластов в метафизе распределяется следующим образом: на самых внутренних балках их среднее количество на условной площади гистологического среза составляет 12; в более наружно расположенных балках их число возрастает до 18. В центре диафиза трабекулярная структура кости развита сильнее, чем в метафизе и представлена 5—7 рядами трабекул. У трабекул 1-го порядка (со стороны костномозговой полости) на эквивалентной площади среза содержится 8—10 остеобластов; на поверхности в промежуточных (мезостальных) трабекул, т. е. трабекулах 2, 3, 4-го и т. д. порядков, их число достигает 12—14, причем преобладают здесь уплощенной формы остеобласты. На поверхности самых наружных периостальных трабекул количество остеобластов на равной площади достигает 20. Следовательно, ближе к периосту последовательно возрастает концентрация остеобластов на костных трабекулах. В эндосте кластические клетки встречаются гораздо чаще, чем в периосте, кроме того отличаются они здесь более крупными размерами и содержат большее количество ядер. У эпифизарного хряща — это, главным образом, 1—3—5-ядерные хондрокласты, лишь вблизи трабекулярной кости они более крупного размера. Среди них — одноядерные и многоядерные формы, содержащие свыше 20 ядер (рис. 5). В этой же зоне выявляется очень слабая либо нулевая реакция на щелочную фосфомоноэстеразу, которая нарастает у трабекул вблизи периоста, где концентрация и плотность расположения остеобластов значительно увеличивается (рис. 6).

Уже сам факт наблюдаемых существенных различий в клеточном составе периоста и эндоста должен предполагать неравнозначное участие их в росте и морфогенезе кости в раннем онтогенезе. В связи с этим представляет интерес изучение особенностей распределения в растущей кости процессов биосинтеза коллагеновых белков, по которым можно в известной мере судить об интенсивности и соотносительном уровне периостального и эндостального остеогенеза.

Таблица 1. **Включение ^{3}H-глицина в клетки перихондра и надкостницы после однократной инъекции 17-суточным эмбрионом**

Перихондр			Периост					
			метафиз			диафиз		
ХБ	ПХБ	ФБП	ОБ	ПОБ	ФБП	ОБ	ПОБ	ФБП
Через 1 ч после введения								
10,4±0,9	10,8±0,1	10,4±0,1	14,6±0,1	10,2±0,2	9,8±0,01	18,5±0,1	11,8±0,9	14,4±0,7
Через 24 ч после введения								
10,7±0,2	10,3±0,3	11,8±0,01	19,0±0,01	10,7±0,5	10,8±0,2	7,1±0,1	6,4±0,02	6,8±0,01
Через 48 ч после введения								
11,4±0,04	5,4±0,2	7,0±0,1	5,3±0,1	8,4±0,01	8,3±0,01	5,4±0,2	5,0±0,1	5,9±0,1
Через 72 ч после введения								
14,0±0,03	6,9±0,1	5,6±0,01	10,2±0,5	11,0±0,01	5,8±0,02	11,0±0,02	9,1±0,18	7,8±0,01

Проведенные опыты с импульсным введением ^{3}H-глицина 17-суточным зародышам показывает, что биосинтез коллагеновых белков в надкостнице трубчатой кости распределяется неравномерно среди клеток различных ее слоев и в разных участках кости. Так, через 1 ч после введения ^{3}H-глицина отмечается разная плотность метки над клетками надкостницы (рис. 7); в то же время с разной интенсивностью откладывается меченый продукт на поверхности растущей кости. Неодинаковая активность остеогенных клеток по показателю включения ими ^{3}H-глицина определяется и в различных зонах кости. Более интенсивно метились клетки внутреннего слоя надкостницы (рис. 8), особенно в диафизарной зоне, здесь максимальную метку содержали остеобласты (табл. 1).

На последующих экспозициях отмечается уменьшение концентрации метки ^{3}H-глицина от самых наружных трабекул, смежных с периостом, до самых внутренних, на границе с костномозговой полостью. Наиболее интенсивно ассимилируют ^{3}H-глицин остеобласты, участвующие непосредственно в остеогенезе, что хорошо заметно по возрастающей кривой роста остеоцитов в тех участках кости, где более интенсивно идет процесс образования костных трабекул — в зоне диафиза кости (рис. 9).

В эндосте растущей кости куриных зародышей распределение включений ^{3}H-глицина выглядит следующим образом. Через 1 ч после введения изотопа метка регистрировалась как в остеобластах, так и во вновь образованном за это время остеоиде (табл. 2). При этой экспозиции преобладают внутриклеточные включения изотопа. В остеобластах на самых внутренних костных трабекулах (трабекулы 1-го порядка) метка самая слабая. По мере отдаления от костномозговой полости к мезосту включения ^{3}H-глицина прогрессирующе возрастали в клетках и межклеточном веществе трабекул 2-го порядка в 2—2,5 раза; в трабекулах 3-го порядка — в 5,5 раз; в трабекулах 4-го порядка — в 6,5 раз. Выделившийся из клеток

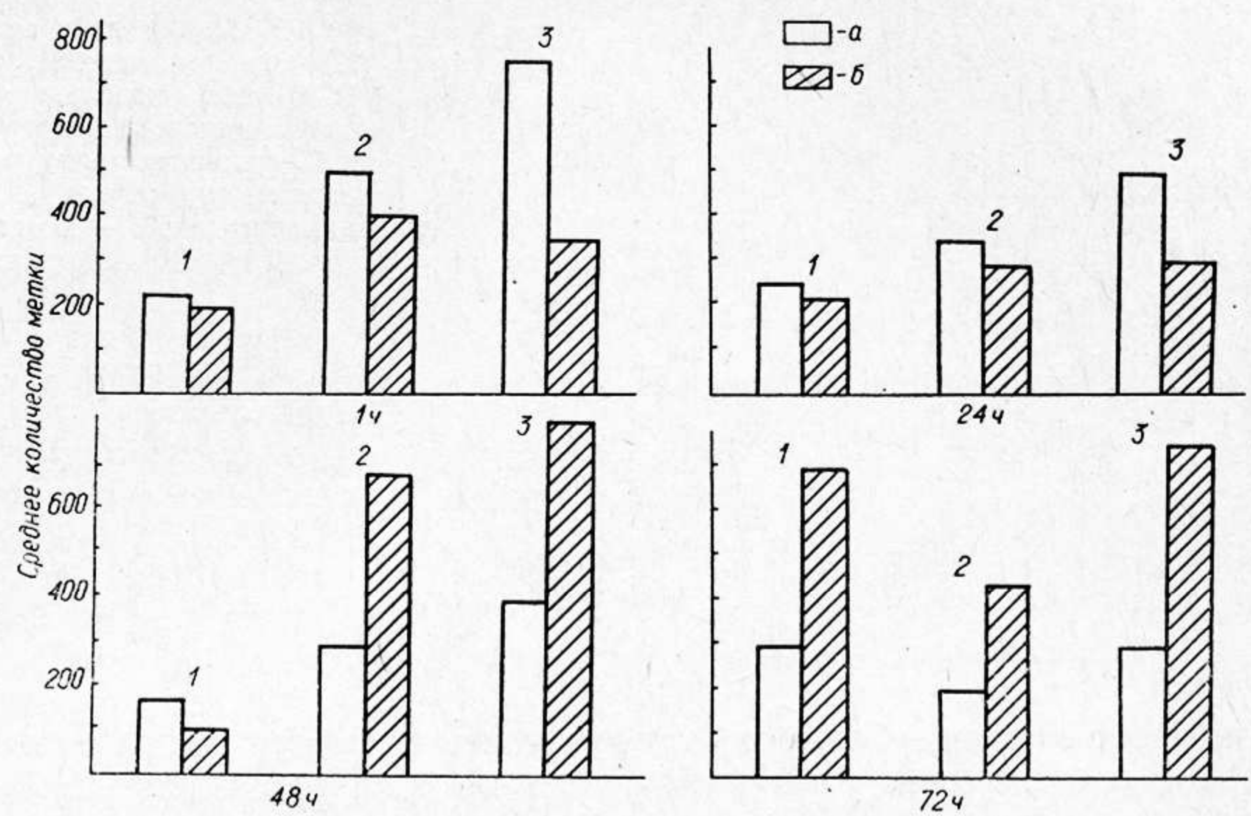


Рис. 7. Динамика включения ^{3}H-глицина в слои надкостницы бедренной кости 17-суточного зародыша: *а* — внутренний слой; *б* — наружный; *1* — переходная зона; *2* — метафиз; *3* — диафиз.

меченый продукт расположен на поверхности костных трабекул в виде узкой «радиоактивной» полосы. Самая высокая интенсивность включений ^{3}H-глицина в этот временной интервал отмечена в остеогенных клетках периоста и у края трабекул, граничащих с внутренним слоем периоста (рис. 10). Остеокласты в первый час опыта не метились ^{3}H-глицином.

Через 24 ч после введения ^{3}H-глицина в перихондре переходной зоны можно уже регистрировать не только преостеобласты, но и единичные остеобласты. Незначительные изменения наблюдаются и в метафи-

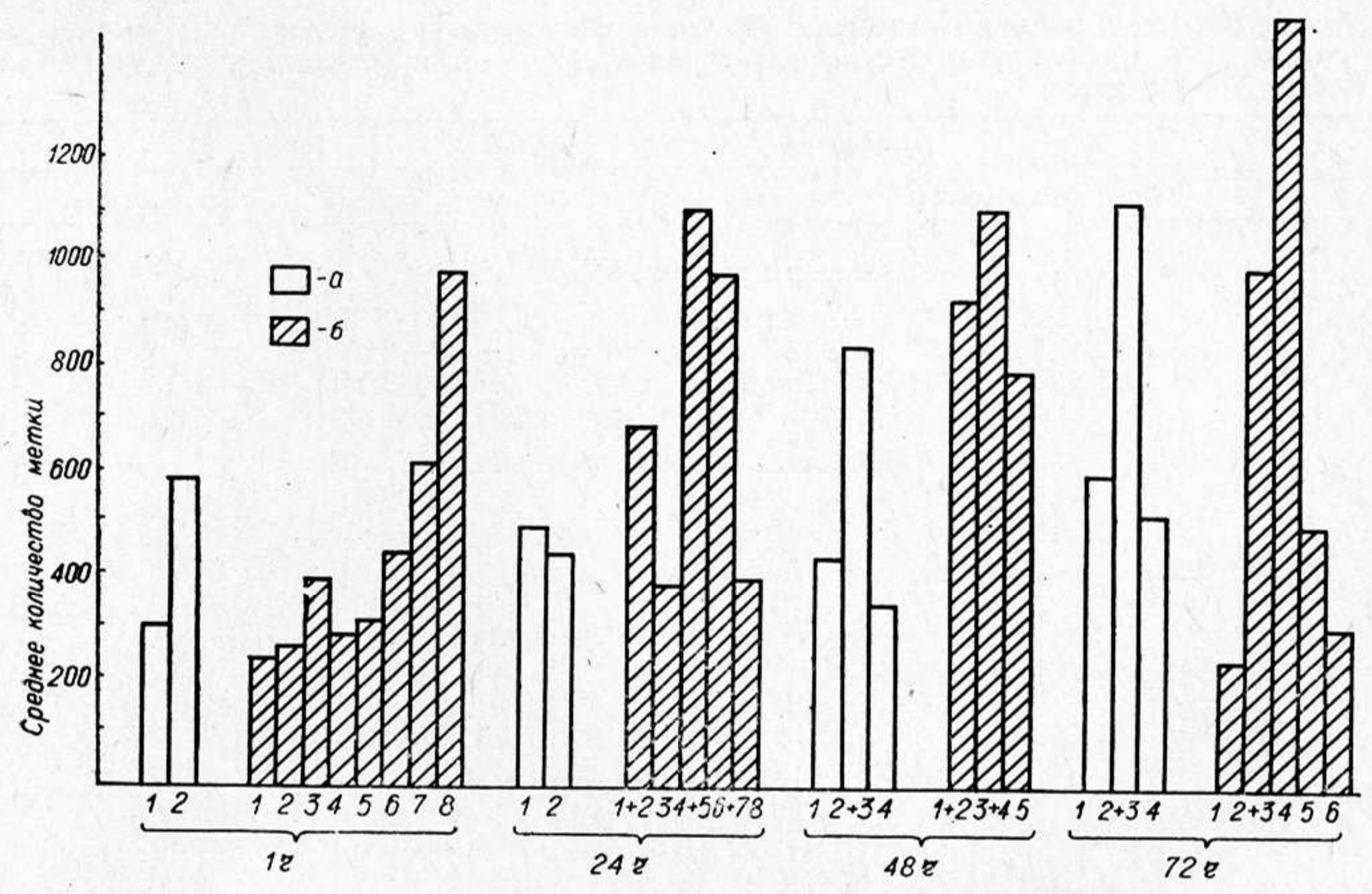


Рис. 8. Количество (X) зерен восстановленного серебра (метки ^{3}H-глицина) над костными трабекулами различных зон бедренной кости 17-суточных эмбрионов: *а* — метафиз; *б* — диафиз.

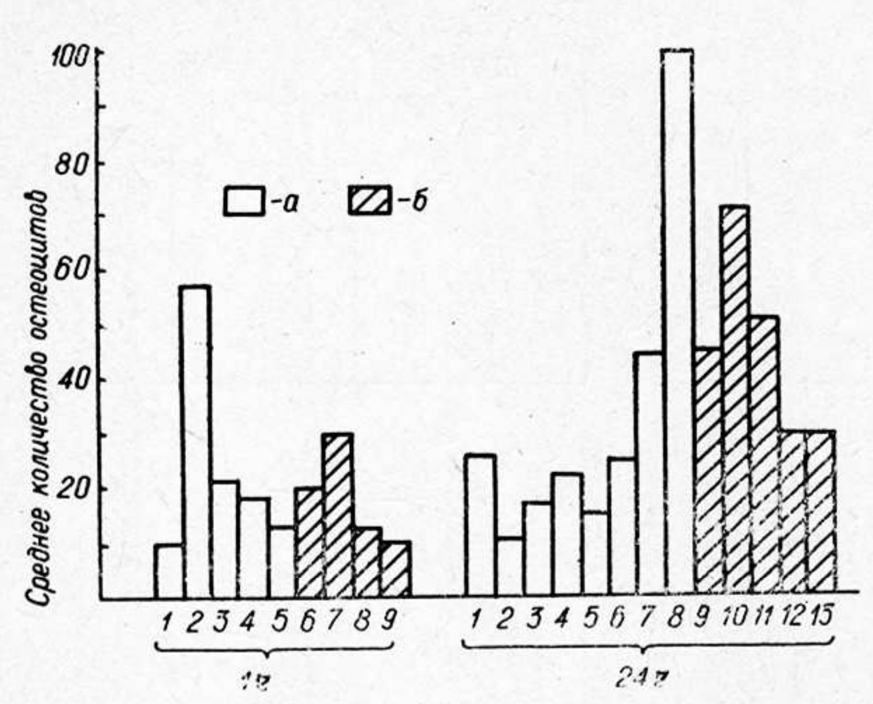


Рис. 9. Количество остеоцитов (X) на условной площади (1600 мк²) костных трабекул центра диафиза бедренной кости 17-суточных зародышей: *а* — костные трабекулы со стороны надкостницы; *б* — костные трабекулы со стороны эндоста.

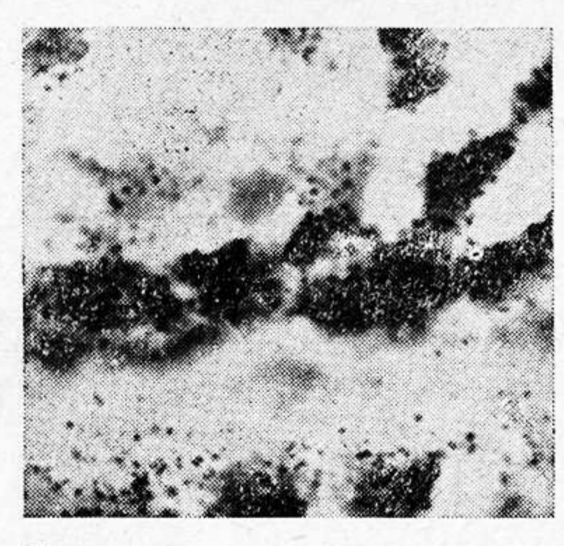
зах. Так, во внутреннем слое периоста зоны метафизов количество рядов остеогенных клеток увеличилось на 1—2. Интенсивность включений ^{3}H-глицина над клетками в этой зоне уменьшается, одновременно возрастает количество костных балок и интенсивность их мечения по сравнению с часовой экспозицией. Таким образом, к 24 ч опыта в зонах метафизов и диафиза появляется новообразованная кость, о чем свидетельствует увеличившаяся за этот промежуток времени концентрация метки в основном веществе и расширение полосы мечения (рис. 11).

Примечателен факт, что первые включения ^{3}H-глицина в клетки перихондра и в клетки наружных рядов надкостницы появляются обычно одновременно с включениями в остеобластах. Однако интенсивность метки в них разная. Меченый продукт задерживается в наружных клетках в течение суток и лишь в более поздние сроки опыта он появляется в межклеточном веществе перихондра. Картина последовательной динамики радиоактивной метки в перихондре и фиброзном слое периоста свидетельствуют о том, что потребление здесь клетками ^{3}H-глицина связано с биосинтезом коллагена, идущего на построение межклеточного вещества.

Таблица 2. **Динамика включения ^{3}H-глицина в структуру эндоста и эндостальный матрикс бедренной кости 17-суточных зародышей (интенсивность метки на условной площади 1600 мкм²)**

Трабекулы	Метафиз		Диафиз	
	Структура эндоста	Эндостал. кость	Структура эндоста	Эндостал. кость
		Через 1 ч после введения		
T1	57,60±2,92	45,60±2,18	24,40±2,35	22,20±2,58
T2	148,20±7,47	135,45±8,70	64,55±2,83	58,15±3,30
T3	235,90±11,45	149,55±3,98	139,20±2,99	81,20±3,26
T4			187,10±4,80	156,80±16,58
		Через 24 ч после введения		
T1	54,56±7,80	55,75±6,80	27,75±2,20	25,80±3,10
T2	57,69±4,20	149,65±3,11	51,69±2,82	114,70±4,20
T3	161,60±6,30	187,10±7,32	105,60±7,10	158,50±5,52
T4			183,25±16,58	191,00±9,70
		Через 48 ч после введения		
T1	41,90±2,38	58,95±1,74	44,38±3,41	81,00±4,62
T2	54,55±3,20	179,44±14,50	41,60±3,83	133,50±8,37
T3	137,30±15,20	210,80±10,30	151,69±3,82	263,68±12,19
		Через 72 ч после введения		
T1	30,44±2,30	47,60±3,10	36,60±2,50	115,10±10,30
T2	40,10±4,80	110,20±9,20	108,30±8,45	217,47±15,60
T3	121,15±11,10	310,20±18,50	151,69±3,82	350,00±12,70

Примечание: T1, T2, T3, T4 — трабекулы 1, 2, 3, 4-го порядка, начиная от внутренней поверхности диафизарной трубки.



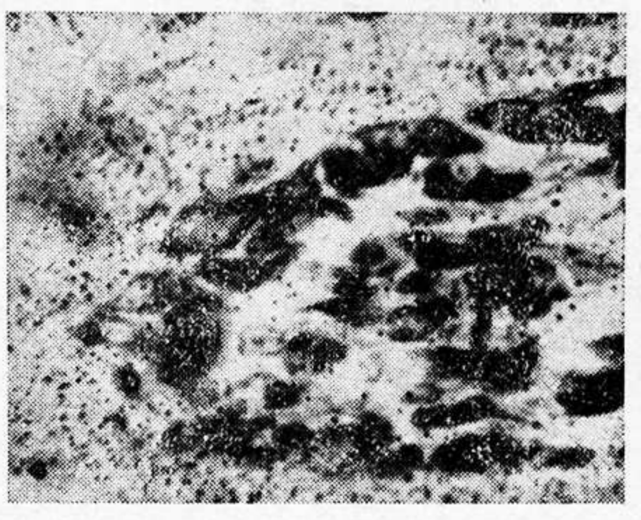


Рис. 10. Интенсивные включения меченого глицина в остеобластах эндоста вблизи периостальных трабекул (гистоавтограф, ^{3}H-глицин, экс. 1 ч, гем.—эозин; об. 40, ок. 16).

Рис. 11. Мезостальная зона вблизи периостальных трабекул; через 24 ч метка ^{3}H-глицина значительно распространяется за пределы клеток (гистоавтограф, гем.— эозин; об. 40, ок. 16).

В распределении периоста по периметру трубчатой кости всегда прослеживается определенная закономерность. В интенсивно растущих зонах остеогенный его слой содержит преимущественно функционально активные остеобласты при повышенной их численности на эквивалентной площади. Таким образом, морфологические отличия клеток различных зон коррелируют с проявлением их функциональной активности. Начиная с первых суток и позже участки межклеточного вещества, содержащие интенсивную метку ^{3}H-глицина, отличаются эозинофильной окраской и представляют собой отложения новообразованного костного матрикса.

Если в течение первых двух суток отмечается высокая метка ^{3}H-глицина над клетками внутреннего слоя периоста, то начиная с 48 часов и до конца опыта метка над внутренним слоем надкостницы заметно снижается, сохраняясь почти на прежнем уровне в наружном слое (рис. 10). На препаратах всех экспозиций наблюдается возрастание включений во вновь сформированных костных балках, прилежащих к надкостнице. Это свидетельствует, очевидно, о том, что по мере секреции коллагеновые балки внутреннего слоя лишь частично остаются в основном веществе надкостницы, тогда как другая часть используется на построение костной ткани. Постоянство уровня мечения в наружном слое указывает на использование синтезируемых клетками продуктов для интенсивного фибриллообразования. Объяснение этого факта кроется, по-видимому, в предположительном высказывании (Bateman, 1988), о том что синтез коллагеновых белков может контролироваться формирующимся при этом внеклеточным матриксом по принципу обратной связи. Это подтверждается и ультраструктурными исследованиями (Clarke, 1989) костной ткани.

Через 24 ч после введения радионуклида метка над остеобластами эндоста снижается почти в 2—2,5 раза и соответственно нарастает на поверхности костного матрикса (рис. 11). Лишь в эндостальной зоне

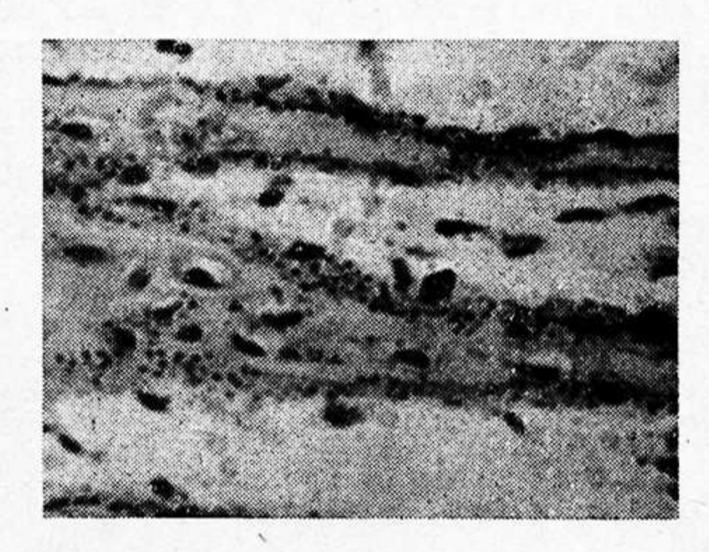


Рис. 12. Распределение включений ^{3}H-глицина в трабекулах диафизарной трубки бедренной кости 17-суточного зародыша: максимум включений в периостальных трабекулах смещается в мезостальные трабекулы 4-го порядка (гистоавтограф, ^{3}H-глицин, экс. 48 ч, гем.—эозин; об. 25, ок. 15).

Таблица 3. **Интенсивность мечения остеобластов эндоста бедренной кости 17-суточных зародышей в опыте с ^{3}H-глицином в различные сроки после его введения**

Трабекулы	Интенсивность мечения остеобластов в зернах серебра			
	1 ч	24 ч.	48 ч	72 ч
		Метафиз		
T1	7,60±0,41	6,15±0,38	6,00±0,54	4,70±0,52
T2	7,70±0,40	5,70±0,58	5,20±0,53	4,30±0,28
T3	16,30±1,26	7,45±0,57	6,80±0,86	4,50±0,51
		Диафиз		
T1	6,70±0,62	4,10±0,63	4,35±0,32	4,33±0,35
T2	11,35±0,77	6,20±0,55	5,50±0,24	5,53±0,43
T3	15,45±1,16	7,85±0,67	5,70±0,56	7,40±0,74
T4	18,85±1,33	9,20±0,83	8,35±1,13	

Примечание: T1, T2, T3, T4 — трабекулы 1, 2, 3, 4-го порядка со стороны костномозговой полости в направлении периоста.

средины диафиза изменений не заметно. Распределение меченого продукта в основном веществе кости через сутки и в более поздние сроки опыта (48, 72 ч), свидетельствует об ограниченном остеогенезе во внутренних трабекулах и его последовательном возрастании в трабекулах смежных с периостом (рис. 12). По этой причине через 72 ч метки ^{3}H-глицина в костных балках метафиза оказываются на глубине 7,5—12,5 мкм; в зоне диафиза (в трабекулах 1-го порядка) метка сохраняется у их поверхности; в трабекулах 2-го порядка включения изотопа регистрируются на глубине 5—7,5 мкм, а в трабекулах 4-го порядка (периостальные трабекулы) — 50—75 мкм. Все это свидетельствует о распределении роста кости по различным ее зонам и структурам. Глубина фронта радиоактивного мечения в матриксе кости после однократного введения ^{3}H-глицина определенно указывает на различия в интенсивности остеопластического процесса, а значит, и аппозиционного роста в разных по структуре зонах кости.

Через 72 ч после введения ^{3}H-глицина незначительно метились остеокласты (рис. 5). На этот счет в литературе существуют противоречивые мнения (Young, 1962, а, в; 1963; Owen, 1965). Анализ динамики интенсивности мечения отдельных остеобластов в эндосте бедренной кости куриных зародышей в различные сроки после введения меченого глицина позволил выявить самый высокий уровень синтеза и секреции белков коллагенового типа в остеобластах, расположенных на трабекулах вблизи периоста (табл. 3).

В тех зонах эндоста, где сосредоточены в большом количестве остеокласты, остеогенные клетки переходят в состояние функционального покоя и фактически прекращают свое участие в остеогенезе. Доминирующую роль здесь приобретает процесс резорбции. Следовательно в растущей трубчатой кости у птиц по мере прогрессирования периостального аппозиционного роста остеобласты глублежащих костных трабекул последовательно снижают свою биосинтетическую активность и в эндостальной зоне обычно переходят в состояние функционального покоя. Возможно, в этом кроется одно из условий прогрессивного развития здесь остеокластов.

Домашевская Е. С. Кинетика секреции белков коллагенового типа клетками окостья // Доп. АН УРСР.— 1871.— Сер. Б.— № 2.— С. 166—168.
Жинкин Л. Н. Радиоактивные изотопы в гистологии.— Л., 1959.— С. 5.
Роскин Г. И., Левинсон Л. Б. Микроскопическая техника.— М.: Сов. наука, 1957.— 466 с.
Clarke H. Mechanism of mineral formation in bone // Invest.— 1989.— P. 320—330.
Jackson S. F., Smith R. H. Studies on the biosynthesis of collagen I. The growth of

fowl osteoblasts and the formation of collagen in tissue culture // J. Biophys.— 3.— 1957.— P. 897—912.

Owen M. Cell differentiation in bone calcified tissues // Collection des Colloques de l'Universite de Liege.— 1965.— P. 11—22.

Reddi A. H. Role of extracellular matrix components in bone development and repair // Connect. Tissue..— 1989.— **21**, N 1.— P. 13—14.

Scott-Savage P., Hall B. K. The timing of the onset of osteogenesis in the tibia of the embryonic chick // J. Morphol.— 1979.— P. 453—464.

Smith R. H., Jackson S. F. Studies on the biosynthesis of collagen. The conversion of ^{14}C-proline to ^{14}C-hydroxyproline by fowl osteoblasts in tissue culture // J. Biophys. Biochem. Cytol.— 1957.— **3**.— P. 913—922.

Weinstock M., Leblond C. P. Synthesis, migration and release of precursor collagen by odontoblasts as visualized by radioautography after (^{3}H) proline administration // J. Cell Biol.— 1974.— **60**, N 1.— P. 92—127.

Young R. W. Autoradiographic studies on bone and cartilage matrix formation in young rats injected with glycine-H^3 // Anat. Rec.— 1962a.— **142**, N 2.— P. 335.

Young R. W. Autoradiographic studies on postnatal growth of the skull in yong rats injected with tritiated glycine // Ibid.— 1962b.— **143**, N 1.— P. 1—7.

Young R. W. Nucleic acids, protein synthesis and bone // Clinical orthopaedics and related research. N 26. Philadelphia;; Montreal: J. B. Lippincott.— 1963.— P. 147—159.

Zambonin Z A., Teti A., Nico B., Primavera M. V. Osteoplastic activity of mature osteocytes evaluated by ^{3}H-proline incorporation // Basic and Appl. Histochem.— 1982.— **26**, N 1.— P. 165—167.

Zambonin Z. A., Teti A., Primavera M. V., Pace G. Mature osteocytes behaviour in a repletion period: the occurence of osteoplastic activity // Ibid.— 1983.— **27**, N 3.— P. 191—204.

Институт зоологии АН Украины
(252601 Киев)

Получено 20.11.90

Особливості біосинтезу колагенових білків в структурі окістя і ендосту у зародків куроподібних. Мажуга П. М., Домашевська О. І., Ніцевич Т. П.— Вестн. зоол., 1992, № 5.— Спроба оцінки функціонального стану остеобластів періосту і ендосту за включенням ними ^{3}H-гліцину.

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ СТАТЬИ

Анестетики в рыбоводстве / Давыдов О. Н., Исаева Н. М.— 23 с.— Библиогр. 60 назв.— Рус.— Деп. в ВИНИТИ 12.12.91 № 4592 — В 91.

Проанализированы сведения, накопленные в 1980—1990 гг. по анестезированию рыб с помощью химиопрепаратов (MS—222, хинальдин, метил пентанол, двуокись углерода, хлорбутанол, метакаин, уретан, трихлорбутилалкоголь, амитал натрия, феноксиэтанол, пропоксат, ксилокаин и др.), а также по электро- и холодовой анестезии. Указано, что идеальный анестетик должен вызывать наступление анестезии за 3 мин. или менее, действие его должно быть достаточно продолжительным, а время восстановления — не более 5 мин.; остатки препарата в тканях рыбы должны метаболизироваться за 1 ч или менее. Он должен быть недорогим, не токсичным для рыбы, безвредным для человека и животных.